知识管理论坛 ISSN 2095-5472 CN11-6036/C
Knowledge Management Forum

E-mail: kmf@mail.las.ac.cn
http://www.kmf.ac.cn

【学术探索】

技术主题演化研究方法综述

◎ 罗文馨[1,2] 王园园[1,2]

1. 中国科学院文献情报中心 北京 100190
2. 中国科学院大学经济与管理学院 北京 100190

摘要：[**目的 / 意义**] 技术主题演化分析对于理解技术发展脉络、预测技术未来发展趋势具有重要意义，梳理技术主题演化分析方法有助于了解其研究现状，并为进一步研究奠定基础。[**方法 / 过程**] 将现有研究中技术主题演化分析方法分为定性、定量和定性与定量相结合的三大类方法，并对每类方法中有代表性的方法进行阐述。[**结果 / 结论**] 在对技术主题演化分析现有方法进行系统梳理的基础上，提出现有研究的不足和对未来研究的展望。

关键词：技术主题演化 专利分析 文本挖掘 文献综述

分类号：G252.8

引用格式：罗文馨 , 王园园 . 技术主题演化研究方法综述 [J/OL]. 知识管理论坛 , 2018, 3(5): 255-265[引用日期]. http://www.kmf.ac.cn/p/145/.

1 引言

现代社会技术的发展日新月异，产业间的技术流动、技术合作以及不同产业间的技术交融不断增强，技术关联愈发紧密，一个产业的技术进步与其他产业的技术变化息息相关[1-2]。作为社会创新的主体，企业面临着通过不断创新以持续研发新产品的挑战。因此，技术的复杂性与多样性与日俱增，技术创新的步伐加快、强度提升，技术发展过程中的不确定性也在不断增强[3]。当前主流观点认为技术的发展是连续的、累积式的，会呈现出明显的阶段性，又可能在某一个历史时期取得突破性进展。分析特定技术领域的演化过程，可以梳理其发展脉络，反映其技术活动的现状，为技术人员研究、回溯技术起源和发展提供可靠的帮助，并对识别科技优先领域、合理配置科技资源具有重要意义。随着科技的迅速进步，技术进步与创新成为经济发展的重要驱动力。与此同时，不断有学者从不同的视角对技术主题演化展开研究，逐步完善了技术演化研究的理论与方法。

2 技术主题演化研究方法

在当前激烈的市场竞争环境下，决策者需要识别出技术出现的可能方向，为进一步的研发规划和研究活动选择正确的道路。因此，分析、追踪某项技术的历史及当前发展情况对于获取

作者简介：罗文馨（ORCID: 0000-0002-3866-7391），硕士研究生；王园园（ORCID：0000-0003-1079-0766），硕士研究生，E-mail：wangyuan_nju@foxmail.com。

收稿日期：2018-01-30 发表日期：2018-09-12 本文责任编辑：刘远颖



足够的竞争优势、把握重要的发展机会具有重要意义[4]。掌握技术主题的演化能够为科学研究的管理提供决策支持，例如规划科学与技术发展，优化研发项目的管理投资，预测技术发展趋势，发现某个技术领域的关键技术人才等。

为揭示某项特定技术演化的过程，不同的研究者从不同的角度提出了很多的研究方法。从定性（qualitative）研究的角度来看，比较有代表性的分析方法有：20 世纪 40 年代提出的形态分析法（morphology analysis）[5] 和 TRIZ（发明问题解决理论）法[6]；20 世纪 50 年代兰德公司（RAND Corporation）用来研究技术主题演变和技术预见（technology forecasting）所采用的德尔菲法（Delphi survey）[7] 等。基于定性研究方法的技术主题演化分析多依赖专家的领域知识，主观性较强，而且成本较高。因此，许多学者提出基于定量（quantitative）研究的分析方法，与定性的分析方法更多地依赖专家领域知识不同，定量的分析方法则更多地基于统计或机器学习算法。如 J. M. Utterback 等[8] 基于数学模型对技术发展的生命周期进行建模，R. Haupt 等[9] 提出利用专利的后向引用数量（backward citations）、后向引用的时效性（immediacy）、前向引用的数量（forward citations）、从属权利要求的数量（dependent claims）等指标的均值特征来判定当前技术在技术生命周期中的发展阶段。随着信息技术的发展以及专利相关的专业数据库的构建，越来越多的学者提出基于专利分类、专利引文和专利文本等技术主题演化分析方法[10-13]。除此之外，也有部分学者提出基于定性研究与定量研究相结合的技术主题演化分析方法[14-17]。综上所述，当前技术主题演化分析方法主要有 3 种，即基于定性研究的分析方法、基于定量研究的分析方法和基于定性和定量组合的分析方法，笔者将从这几个方面对技术主题演化分析方法进行综述。

2.1 基于定性研究的方法

基于定性研究的技术主题演化分析方法主要依赖专家的领域知识和经验，代表性的定性分析方法有形态分析法（morphology analysis）、德尔菲法（Delphi survey）、TRIZ 法等。

2.1.1 形态分析法

形态分析法（morphology analysis）是在技术预见（technology forecasting）分析、技术主题演化分析等场景中常用的一种代表性的定性分析手段。形态分析法的基本思想是将分析对象划分为不同的维度，使得分析对象能够尽可能地被详细、完整地描述[5]。通常，一个系统由若干子系统构成，每个子系统由多个不同的要素构成，形态分析法识别每个维度（子系统）的要素，然后组合这些要素，并检查系统可能采用的组合以确定最佳方案。形态分析法的关键在于将以非定量化（nonquantitative）的方式对复杂的问题进行建模[18]。因此，形态分析法更多地是一种对问题进行结构化建模而非解决问题的方法，建模的过程也更依赖于领域专家。但是，传统的形态分析法存在没有科学、系统的方式构建技术形态的局限，因此，B. Yoon 和 Y. Park[19] 提出基于关键词的形态分析方法，具体来讲，该方法首先利用文本挖掘的方式抽取专利文本信息中的关键词，然后对抽取的关键词进行因子分析得到技术词典（technology dictionary），再由技术词典构建技术形态（technology morphology），最后应用于分析技术机会（technology opportunity）、技术预见（technology forecasting）和技术主题演化分析等[20-21]。形态分析法已经应用于 LED 照明技术[22]、3D 打印[23] 等领域，当前的发展趋势是常与文献计量方法、联合分析方法或文本挖掘方法等定量方法相结合，减少人工参与，以达到科学高效识别技术机会的目的。

2.1.2 德尔菲法

在技术主题演化分析、技术预见（technology forecasting）分析等任务中，单纯地使用简单的统计信息通常无法满足分析的需求，此时融合专家的观点就显得非常必要。德尔菲法（Delphi survey）充分依靠专家的知识和经验，由专家通过调查研究对问题做出判断、评估和预测，是

知识管理论坛，2018(5):255–265
DOI：10.13266/j.issn.2095–5472.2018.025

一种能够充分挖掘专家观点的有效手段[24]。C. Y. Hung 等[25]利用修正的德尔菲法预测了 iPad 对台湾个人电脑生态的影响，并且使用频次表和图分析总结德尔菲法的调查结果。C. Markmann 等[26]通过德尔菲法对供应链安全技术领域进行了风险分析，以识别和评估未来的技术挑战。此外，J. Keller 等[27]通过德尔菲法对信息与通信技术（ICT）进行了技术预见（technology forecasting）分析。由于德尔菲法完全依赖于专家的经验和知识，其技术分析结果也会随着专家的变化而变得不稳定。德尔菲法的效果也依赖于收集、使用和规划专家观点的方法，例如情景分析（scenario analysis）和技术路线图（technology roadmapping）。提高德尔菲法的准确性和可靠性的关键在于增强专家知识，如在调查前期加入专利信息源以及专利定量分析方法，以便提供给专家可靠的信息源以及信息参考点。在技术预见、技术主题演变分析等任务中，目前，德尔菲法仍然是一种常用的方法。

2.1.3 TRIZ 法

TRIZ 法是前苏联发明家 H. Altshuller[28] 及其同事在分析各国专利的基础上，于 1946-1985 年间发展起来的一套基于逻辑和数据的创新问题解决理论，它由解决技术问题和实现创新开发的各种方法、工具和算法组成，其核心思想是技术矛盾和冲突的解决是技术系统进化的动力。TRIZ 法在大规模专利分析基础上，将创新过程的原理具体化，并提出一系列规则、算法与发明创造原理，形成一套比较完整的创新设计理论。利用 TRIZ 思想可以从宏观和微观两个层面预测技术发展方向[29]，宏观层面主要涉及整个技术系统的演化趋势（如技术系统的生命周期），微观层面主要涉及不同技术分支具体的演化路线。TRIZ 法的“难题 - 方案 (P-S)”启发式分析模式是技术范式演化分析的重要方法，有助于理解技术进化规则，在细小技术分支领域的效果更佳，如在无人机[30]、点胶机[31]、配电变压器[32]等领域已经进行了实证研究。

由于 TRIZ 法是从机械、工程类专利中归纳出来的，单纯地使用该方法无法很好地反映其他领域的专利特性；此外，虽然基于“难题 - 方案”是该方法的重要内容，但是难题和方案之间的语义关系也没有很好地被揭示。为了解决这些问题，近年来的新趋势是将 TRIZ 法与自然语言处理、文本挖掘、数据挖掘、语义分析等方法相结合[33-35]，通过加入对专利隐形技术信息的挖掘，来扩展 TRIZ 法的适用领域以及揭示其中难题和方案之间的语义关系。例如，结合数据挖掘技术将多维分析和 TRIZ 知识库集成到知识地图[36]，利用结构方程方法识别 TRIZ 与专利文本的耦合关系[37]，利用现代语义技术构建个性化语义 TRIZ 模型[38]等。

2.2 基于定量研究的方法

基于定性研究的方法过于依赖领域专家的知识和经验，存在主观性强、分析结果不稳定、成本较高等局限。为克服定性方法在技术分析中的局限性，很多学者提出了基于定量研究的技术主题演化分析方法[39-41]。专利数据是技术信息、法律信息和商业信息的载体，具有高度结构化和易于获取的特点，此外由于法律条文和商业重要性的限制，专利信息编撰严谨，涵盖广泛，因而成为技术融合研究使用的主要数据。专利数据包含丰富的信息，包括结构化的专利文献元数据信息（如专利引文、专利分类等）以及非结构化的专利文本信息，为技术主题演化分析提供了便利，笔者将基于定量研究的技术主题演化分析方法分成 6 种，即技术生命周期法、基于专利分类的方法、基于专利引文的方法、基于专利文本的方法、专利网络分析方法和基于多种专利要素相结合的方法。

2.2.1 技术生命周期法

技术生命周期表示一种以周期变化为特征的技术主题演化模式，一般划分为萌芽期、成长期、成熟期和衰退期 4 个阶段[42]。H. Ernst[43] 将技术生命周期的 4 个阶段与 TRIZ 理论相结合形成了 S 型曲线模型，并提出用量化的专利指标来代表技术性能的衡量指标。技术生命周期分析一般使用数学模型来拟合 S 型曲线。常用



的数学模型有 Logistic 模型和 Gompertz 模型等，利用专利申请量对技术生命周期模型进行拟合和预测，并进一步分析判断技术所处的生命周期的阶段。此外，也有研究通过多个技术指标来分析技术生命周期[44]，代表性的技术指标有专利前后引用数量、专利引用中值、技术生长率、技术成熟系数、技术衰老系数等[9]。与单纯利用 S 型曲线相比，有学者认为技术轨道理论更适用于技术主题演化分析，更能满足技术生命周期预测的需要[45]。也有一些学者对传统的技术生命周期模型进行了改进，如 M. Li[46] 提出结合文献计量方法和技术生命周期法的技术生命周期分析框架，分析了石墨烯技术的演化过程和发展阶段。C. Lee[47] 等人提出随机技术生命周期方法，定义了 7 个时间序列专利指标，并采用隐马尔科夫模型估计技术概率。M. Rezaeian 等[48] 创建技术预见三步法——生命周期分析、文本挖掘、自动聚类，旨在发现评估特定研究领域的新研发活动的可能机会。可见，在实证研究中，技术生命周期法的发展趋势是与多种专利计量指标或计量方法相结合，以提高准确性和可靠性。

2.2.2 基于专利分类的方法

专利分类是专利技术内容的一种反映，沿着时间维度运用一些统计方法对专利的分类信息进行分析，能够揭示某项特定技术随时间的演变过程。已有学者利用专利文献中的结构化信息分析技术主题的演变过程并预测技术发展的未来趋势[49]。专利共分类（co-classification）分析是一种常用的基于专利分类的技术主题演化分析方法。专利共分类是指如果表征不同技术方向的专利分类号码（如 IPC、USPC 等）共现（比如在同一专利文献中共现），则表明这两个技术方向存在一定关系，对这种关系进行分析进而实现对技术主题的分析。K. Suzuki 等[50] 基于专利 IPC 分类号共现的方法进行技术分析，将专利分类与时间结合起来分析各技术领域的发展趋势、热门技术、研发动向等。专利分类共现实际上也可以视为一种网络关系，因此可以通过社会网络分析的手段进行专利共分类分析。S. Jeong 等[51] 通过 IPC 分类号在专利文献中的共现关系构建了 IPC 共现网络，网络中每一个节点表示一个技术方向，包含两个技术方向的专利数目越多，则这两个技术方向之间的关联越强，对网络的特性（如网络密度、节点平均度数等）进行分析即可了解不同技术主题随时间演变的情况。

聚类分析常与专利分类信息结合，可用于技术分析及预测。G. Kim 等[52] 等基于专利 CPC 分类进行 k-means 聚类，识别并定义新形成的技术集群，并用独立权利要求等专利指标评估技术集群是否具有前景。关联规则分析也经常被用来对专利分类的共现信息进行挖掘，如 W. S. Lee 等[53] 等从 IPC 的共现关系中挖掘出强关联规则，然后在此基础上构建 IPC 的共现网络，并基于 IPC 共现网络进行链路预测（link prediction）以预测未来的技术发展趋势，结合主题分析抽取关键词以识别未来可能的新兴领域。

2.2.3 基于专利引文的方法

由于数据规范且容易获取，专利引文分析已成为技术主题演化分析、技术预见（technology forecasting）分析等活动的重要研究手段[54]。引用关系反映了某项专利的技术基础和科学基础，专利引文分析即对专利文献之间的引用关系进行分析[55]。专利引文关系主要有直接引用关系、同被引关系和引文耦合关系等，不同类型的引文关系的侧重点有所不同，专利直接引用关系反映了技术的专业性，专利同被引关系反映了不同技术发展中的相互关联，专利引文耦合关系则反映了技术的共享性[56-58]。

根据专利的引文关系可以构建专利引文网络，当前分析专利引文网络的方法主要有 3 类[44]：将专利引文网络与聚类分析相结合的方法，识别专利引文网络中的知识流动主路径的方法和基于社会网络分析的方法。专利引文关系可以反映技术之间的流动性、相似性，将专利引文网络与聚类分析相结合，根据专利之间的引文关系可以将相似的专利技术聚在一起，

知识管理论坛，2018(5):255-265
DOI：10.13266/j.issn.2095-5472.2018.025

形成具有不同技术主题的类簇，结合不同技术主题之间的关联分析和随时间的变化情况，可以进一步识别技术演化，判断技术发展趋势[4, 56-57, 59-60]。有研究[54, 61-62]提出度量引文权重的指标，根据测算出的引文权重来识别专利引文网络中知识流动主路径以绘制技术演化轨迹。主路径分析是一种基于引文权重来识别专利引文网络关键路径的方法，是技术主题演化分析的重点之一，旨在反映其中的知识流动，被识别出来的重要部分成为主路径。V. Batagelj[63]改进主路径算法使其可以处理百万节点级别的大型网络，并将其应用于专利引文网络以抽取技术主题。B. Verspagen[61]、A. Martinelli[54]使用该算法分析燃料电池和电信交换器行业的专利引文网络，得到较清晰的技术主题演化轨迹。

随着社会网络分析方法研究的发展，越来越多的学者采用社会网络分析的方法来分析专利引文关系网络中的技术演变阶段[64-65]。M. S. Mariani等[66]提出利用基础的引用计数、引文网络的 PageRank 得分，及加入引文网络拓扑结构和时态信息后重新调整的 PageRank 得分等指标，来早期识别重要专利和技术改进的近期趋势。各种网络结构分析指标与算法、可视化工具等，为研究技术演化网络的形态结构、性质特征、动力学要素、演化趋势等提供了有效手段。

2.2.4 基于专利文本的方法

文本挖掘主要是对文本信息进行整理、分析与挖掘，能够从大量非结构化的文本信息中发现潜在的数据模式、内在联系，抽取有价值的信息和知识，是技术主题演化分析的重要手段。早期具有代表性的方法有词频分析法，通过提取专利文本信息中的技术关键词，并根据技术关键词的出现频率来反映技术领域的研究状况。之后，越来越多的研究将主题特征项识别、词汇映射（term mapping）、共词分析（co-word analysis）、关联分析、网络分析和语义分析等方法应用与技术主题演化研究中。B. Yoon等[11]根据技术关键词频率将专利文献转化为关键词向量，通过计算专利文献之间的距离建立专利网络，用以分析技术领域的发展阶段和规律。P. L. Chang等[67]在此基础上对专利网络进行聚类，来分析每个聚类的特点及重要技术。Y. G. Kim等[13]、方曙等[10]依据关键词的频次和其所在专利的申请日绘制出揭示技术主题演变趋势的专利网络图。陈亮[68]认为应该从技术系统构成的整体视角出发来研究技术主题演化过程，其提出的技术主题演化方法主要包含 3 个方面：基于关联规则改进的术语抽取法、技术系统构成的识别方法和基于技术系统构成的技术演化分析。专利文献的术语抽取技术为基于共词分析的技术主题演化分析奠定了基础。共词分析按照具体分析方法的不同，可以分为共词网络分析、共词聚类分析和战略图分析等方法。Y. Huang等[69]提出基于共词分析、共分类分析和主路径分析的混合方法，并对 3D 打印技术演化过程进行了实证分析。此外，专利文本聚类通过聚类算法将专利文本聚为类簇，每个类簇表示一个技术主题，也是一种分析技术主题演化的有效方法。如李欣等[70]在抽取专利摘要 Subject-Action-Object(SAO) 结构的基础上，依据语义相似度对专利文本进行聚类，在钙钛矿太阳能电池领域验证了方法的可行性与有效性。

近几年新兴的方法包括 SAO 结构抽取[71-73]和主题模型改进[74]等，它们是从语义分析的角度挖掘专利文本，研究技术主题演化。SAO 结构抽取是指“主题（Subject）- 行动（Action）- 对象（Object）”抽取，用于表示专利技术问题、方案、功能、效果等技术相关信息，研究中多用 SAO 结构来代替关键词，与传统的专利文本关键词抽取方法相比，包含更丰富更层次化的语义信息。以隐含狄利克雷分布（Latent Dirichlet Allocation，LDA）模型为代表的主题模型是主题分析领域流行的方法，而将其应用于技术主题演化分析时，关键是如何利用主题模型表示主题演化的动态变化过程。越来越多的学者开始使用改进的主题模型来解决该问题，包括对基础的主题模型的扩展以及主题模型与

其他机器学习算法的结合，如对每个时间窗口的文本数据分别进行主题建模，计算相邻时间段的主题相似性；还可以直接使用动态主题模型（Dynamic Topic Model，DTM），用状态空间来刻画主题的演变。陈伟 [75] 等人提出 LDA-HMM 组合方法，利用 LDA 对专利文献建模、生成技术主题，利用隐马尔科夫过程（Hidden Markov Model, HMM）确定技术主题演变历史及未来演化趋势。

2.2.5 专利网络分析方法

专利网络分析方法是社会网络分析方法在专利领域的扩展。社会网络分析方法源于社会学研究，是系统分析社会结构的一种流行方法。它试图在个人、团体、组织或其他实体的参与者之间建立映射关系，利用定量技术产生的相关指标衡量整个网络的特征以及实现网络节点可视化 [76]。基于社会网络分析理论，专利网络分析方法用于研究专利数据集的交互关系的结构特征，使用一组关键词作为输入基础，生成一个网络，该网络用于表征专利及专利间的相互关系 [77-78]。

专利网络分析方法比传统的方法更有用，它表明了专利之间的总体关系和单件专利或专利集合的各自相对位置，结合网络计算的若干指标，帮助发现技术领域和研究主题的演变趋势。如果要更精确或细粒度地分析主题演化趋势，往往需要在专利网络中加入技术主题的语义环境。C. C. Wu[79] 提出基于加权关键词的专利网络方法 WKPN（weighted keyword-based patent network），利用德尔菲法提取合适的专利关键词，利用层次分析法赋予关键词以加权值，在此基础上建立专利相似度矩阵构建专利网络，用于分析生物燃料的技术发展趋势和识别能源技术新兴领域的演变。

2.2.6 基于多种专利要素相结合的方法

除了单独考虑专利分类、专利引文或专利文本的方法外，近年来还有学者提出将多种专利要素结合起来，从多维度来考虑技术主题演化。用于技术主题演化分析的专利要素包括专利引文、专利分类号、专利文本、发明人、专利权人等。常见方法是选择两种及以上的专利要素，通过建立模型综合考虑不同的专利要素，或者将对一种专利要素的处理结果融合入对另一种专利要素的分析中，从而实现技术主题演化分析。如 J. Tang 等 [80] 提出 Dynamic Inventor-Company-Topic（DICT）模型，结合专利发明人、专利权人和专利文本这 3 类要素和时间因素，获取技术主题及其时序变化；该项研究还形成了 PatentMiner 工具，专门用于技术主题演化分析。L. Feng 等 [81] 使用专利文本和专利 IPC 分类号，提出结合两类专利要素的相似度度量模型，在此基础上进行专利聚类，用于技术主题分析。而陈亮 [82] 则是将专利文本挖掘结果应用于专利引文网络分析中，结合动态规划思想提出主多路径方法，在硬盘驱动器磁头领域的实证结果表明该方法可以有效抽取主要技术主题的演化轨迹。

与其它定量方法相比，多种专利要素结合的方法，对技术预见和主题演化的探索更加地系统化和全面化。B. Yoon[83] 等整合专利文本信息和引用信息，采用地形图生成 (generative topographic mapping，GTM) 和链路预测开发专利地图并识别有前途的技术机会，实现了系统化地寻找技术机会及展示技术详细特征，为技术规划提供重要参考。

2.3 基于定性与定量结合的方法

基于定性研究的技术主题演化分析方法过于依赖领域专家的知识和经验，使得分析结果主观性强、不稳定，基于定量研究的技术主题演化分析方法往往又忽略了领域专家的知识，而且通常定量分析的结果需要一定的领域知识来进行解释。由于定量分析方法和定性分析方法各自的缺陷，一些学者提出基于定性与定量组合的方法，以希望在进行技术分析的时候能够充分利用这两类方法的特点。L. Huang 等 [14] 提出将专利分析（定量）与技术路线图（定性）组合的方法用于技术分析，将科学与技术的规划映射到未来的发展趋势中。Y. Jeong 等 [15] 提

知识管理论坛，2018(5):255–265
DOI：10.13266/j.issn.2095–5472.2018.025

出一种新的技术路线图（定性）的方法，该方法基于专利关键词分析（定量）和技术本体（定性）构建。胡正银[38]提出一个基于多维索引的个性化语义 TRIZ 体系结构，并结合所提出的个性化语义 TRIZ 和技术路线图分析了石墨烯技术的演化过程。在基于定性与定量结合的方法中，如何将定性的方法与定量的方法有机地结合起来是其中的关键。

3 总结与展望

技术主题演化分析对于梳理技术发展脉络和内部技术活动的发展历史、反映技术活动现状具有重要意义，可以用于识别科技优先领域，优化科技资源配置。笔者在对当前技术主题演化分析方法进行梳理的基础上，认为当前技术主题演化分析方法仍存在以下不足：① 基于定性研究的分析方法过于依赖领域专家的知识和经验，分析结果主观性强，不稳定，成本较高；②技术生命周期法、基于专利分类和专利引文的分析方法趋于宏观，直观性不足，无法深入到专利文献获取技术细节，往往不能满足多样的分析需求；③基于专利文本的分析方法虽然比较直观和细致深入，但仍有提升空间，比如进一步减少人工对于分析结果的阐释，结合专利的引文、分类等信息进一步提供更合理、更多元的分析手段等；④专利网络分析方法虽然容易发现专利间或技术主题间的关联关系，但是当前工作大多基于静态网络，没有刻画网络的动态变化过程，对发现主题的演化过程还需要进一步加强；⑤基于多种专利要素的方法结合了专利的结构化信息和非结构化信息，能够从多角度充分挖掘和利用专利信息，是未来的发展趋势。

总体而言，传统定性研究花费大量人力物力并且难以移植，技术生命周期法、基于专利分类和引文的方法停留在宏观层面，无法细粒度地精准分析技术主题的演化过程，而如果将技术主题演化分析应用于企业或国家的技术管理决策，需要先实现技术主题演化分析的高效率、低成本、精准化和可移植性。所以，利用机器学习或数据挖掘方法，基于专利文本或将专利文本和其他要素结合，减少人工参与，实现技术主题演化分析的自动化与精准化将是未来的发展趋势。但是，目前该类型研究还处于学术探索阶段，尚未形成标准化的方法进行应用推广。另外，目前的技术主题演化分析仍更关注当前和历史变化趋势，在发现新技术主题和预测新发展趋势上，效果不太理想。

基于此，笔者认为在技术主题演化的未来研究中，一方面需要加强对于技术主题演化理论的研究，以更好地理解、把握技术主题演化的方式和规律，进而进一步推动技术主题演化分析方法的研究，如技术主题演化是技术领域内部动力、环境发展推力、需求拉力等多合力作用的结果，应充分考虑和研究技术主题演化的系统性；另一方面，数据挖掘、机器学习、社会计算等领域的迅猛发展丰富了技术主题演化的分析方法，为技术主题演化的分析提供了新的思路，如何将这些方法应用于技术主题演化分析或如何组合这些方法进行技术主题演化分析值得进一步深入研究。

参考文献：

[1] ROSENBERG N. Technological change in the machine tool industry, 1840–1910 [J]. The journal of economic history, 1963, 23(4): 414-443.
[2] ROSENBERG N. Exploring the black box: technology, economics, and history [M]. Cambridgeshire：Cambridge University Press, 1994.
[3] CHO Y, KIM M. Entropy and gravity concepts as new methodological indexes to investigate technological convergence: patent network-based approach [J]. PLOS ONE, 2014, 9(6): e98009.
[4] CHOI C, PARK Y. Monitoring the organic structure of technology based on the patent development paths [J]. Technological forecasting and social change, 2009, 76(6): 754-768.
[5] WISSEMA J G. Morphological analysis: its application to a company TF investigation [J]. Futures, 1976, 8(2): 146-153.
[6] ILEVBARE I M, PROBERT D, PHAAL R. A review of

TRIZ, and its benefits and challenges in practice [J]. Technovation, 2013, 33(2/3): 30-37.

[7] MITCHELL V W. The Delphi technique: an exposition and application [J]. Technology analysis & strategic management, 1991, 3(4): 333-358.

[8] UTTERBACK J M, ABERNATHY W J. A dynamic model of process and product innovation [J]. Omega, 1975, 3(6): 639-656.

[9] HAUPT R, KLOYER M, LANGE M. Patent indicators for the technology life cycle development [J]. Research policy, 2007, 36(3): 387-398.

[10] 方曙，胡正银，庞弘燊，等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究 [J]. 图书情报工作，2011, 55(22): 42-46.

[11] YOON B, PARK Y. A text-mining-based patent network: analytical tool for high-technology trend [J]. The journal of high technology management research, 2004, 15(1): 37-50.

[12] CHANG P L, WU C C, LEU H J. Using patent analyses to monitor the technological trends in an emerging field of technology: a case of carbon nanotube field emission display [J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19.

[13] KIM Y G, SUH J H, PARK S C. Visualization of patent analysis for emerging technology [J]. Expert systems with applications, 2008, 34(3): 1804-1812.

[14] HUANG L, ZHANG Y, GUO Y, et al. Four dimensional science and technology planning: a new approach based on bibliometrics and technology roadmapping [J]. Technological forecasting and social change, 2014, 81(1): 39-48.

[15] JEONG Y, YOON B. Development of patent roadmap based on technology roadmap by analyzing patterns of patent development [J]. Technovation, 2015, 39-40(1): 37-52.

[16] SUN Y, LU Y, WANG T, et al. Pattern of patent-based environmental technology innovation in China [J]. Technological forecasting & social change, 2008, 75(7): 1032-42.

[17] WONG C Y, YAP X S. Mapping technological innovations through patent analysis: a case study of foreign multinationals and indigenous firms in China [J]. Scientometrics, 2012, 91(3): 773-787.

[18] PIDD M. Tools for Thinking: Modelling in Management Science [M]. New Jersey: Wiley, 1997.

[19] YOON B, PARK Y. A systematic approach for identifying technology opportunities: Keyword-based morphology analysis [J]. Technological forecasting & social change, 2005, 72(2): 145-160.

[20] YOON B C, PARK Y T. Morphology analysis approach for technology forecasting[C]// 2004 IEEE international engineering management conference. Piscataway: IEEE, 2005: 566-570.

[21] YOON B, PHAAL R, PROBERT D. Morphology analysis for technology roadmapping: application of text mining [J]. R & D management, 2008, 38(1): 51–68.

[22] 王吉武，黄鲁成，卢文光. 基于形态分析和联合分析方法的技术机会评价实证研究 [J]. 上海经济研究，2008(5): 66-72.

[23] 王金凤，吴敏，岳俊举，等. 创新过程的技术机会识别路径研究 —— 基于专利挖掘和形态分析 [J]. 情报理论与实践，2017, 40(8):82-86.

[24] ROWE G, WRIGHT G. Expert opinions in forecasting role of the Delphi technique[M]// ARMSTRONG J S. Principles of forecasting. Boston: Springer , 2001.

[25] HUNG C Y, LEE W Y, WANG D S. Strategic foresight using a modified Delphi with end-user participation: a case study of the iPad's impact on Taiwan's PC ecosystem [J]. Technological forecasting & social change, 2013, 80(3): 485-497.

[26] MARKMANN C, DARKOW I L, GRACHT H V D. A Delphi-based risk analysis — identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment [J]. Technological forecasting & social change, 2013, 80(9): 1815-1833.

[27] KELLER J, GRACHT H A V D. The influence of information and communication technology (ICT) on future foresight processes — results from a Delphi survey [J]. Technological forecasting & social change, 2014, 85(1): 81-92.

[28] KOWALICK J. Altshull's greatest discovery—and beyond[EB/OL]. [2018-05-05]. https://triz-journal.com/altshullers-greatest-discovery-beyond/.

[29] SCHUH G, GRAWATSCH M. TRIZ-based technology intelligence[EB/OL]. [2018-05-05]. http://www.metodolog.ru/triz-journal/archives/2004/04/05.pdf.

[30] 李燕信. TRIZ 与软件系统创新 —— 历史视角及无人机应用案例研究 [J]. 创新科技，2016(7): 40-44.

[31] 吕桂志，任工昌，丁涛. 基于 TRIZ 技术进化分析点胶机的演进 [J]. 工程设计学报，2008, 15(5): 387-390.

[32] NOWAK T, STRYKEN E, PLATEK R, et al. Combining the morphological analysis with TRIZ: the industrial use

知识管理论坛，2018(5):255–265
DOI：10.13266/j.issn.2095–5472.2018.025

case [EB/OL]. [2018-05-05]. https://www.researchgate.net/publication/322209738.

[33] YOON J, KIM K. An automated method for identifying TRIZ evolution trends from patents [J]. Expert systems with applications, 2011, 38(12): 15540-15548.

[34] VERHAEGEN P A, D'HONDT J, VERTOMMEN J, et al. Relating properties and functions from patents to TRIZ trends[J]. Cirp journal of manufacturing science & technology, 2009, 1(3): 126-130.

[35] Identifying technology trends for R&D planning using TRIZ and text mining[J]. R&D management, 2010, 40(5): 491-509.

[36] WEN X, GUAN X, LAI C. A method for patent mining and its application in innovation of high-altitude cleaning robot[J]. Recent patents on mechanical engineering, 2017, 10(1): 75-82.

[37] LIU Z F. Technology innovation of coupling classical TRIZ and patent text: concepts, models & empirical research[J]. Journal of mechanical engineering research & developments, 2016, 39(4): 815-825.

[38] 胡正银 , 方曙 , 张娴 , 等 . 个性化语义 TRIZ 构建研究 [J]. 图书情报工作 , 2015, 59(7):123-131.

[39] EGGERS F, EGGERS F. Where have all the flowers gone? Forecasting green trends in the automobile industry with a choice-based conjoint adoption model [J]. Technological forecasting & social change, 2011, 78(1): 51-62.

[40] GEUM Y, LEE H J, LEE Y, et al. Development of data-driven technology roadmap considering dependency: an ARM-based technology roadmapping [J]. Technological forecasting & social change, 2015, 91(1): 264-279.

[41] JUN S. Central technology forecasting using social network analysis [C]// KIM T, RAMOS C, KIM H, et al. Computer applications for software engineering, disaster recovery, and business continuity. Berlin: Springer, 2012: 1-8.

[42] 张娴 , 方曙 , 王春华 . 专利引证视角下的技术演化研究综述 [J]. 科学学与科学技术管理 , 2016, 37(3): 58-67.

[43] ERNST H. The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-Technology in the machine tool industry [J]. Small business economics, 1997, 9(4): 361-381.

[44] 陈亮 , 张志强 . 技术演化研究方法进展分析 [J]. 图书情报工作 , 2012, 56(17): 59-66.

[45] YANG Z K, HUANG Y, LIU J, et al. Research on identification of technological trajectory based on patent citation network — taking wind motors technology as an example[C]// International symposium on management of technology. Piscataway: IEEE, 2013: 216-220.

[46] LI M. A novel three-dimension perspective to explore technology evolution [J]. Scientometrics, 2015, 105(3): 1679-1697.

[47] LEE C, KIM J, KWON O, et al. Stochastic technology life cycle analysis using multiple patent indicators[J]. Technological forecasting & social change, 2016, 106(1): 53-64.

[48] REZAEIAN M, MONTAZERI H, LOONEN R C G M. Science foresight using life-cycle analysis, text mining and clustering: a case study on natural ventilation[J]. Technological forecasting & social change, 2017, 118(1): 270-280.

[49] JUN S, LEE S J. Emerging technology forecasting using new patent information analysis [J]. International journal of software engineering & its applications, 2012, 6(3): 107.

[50] SUZUKI K, SAKATA J, HOSOYA J. An empirical analysis on progress of technology fusion[C]//International conference on digital information management. Piscataway: IEEE, 2009: 937-939.

[51] JEONG S, KIM J-C, CHOI J Y. Technology convergence: What developmental stage are we in? [J]. Scientometrics, 2015, 104(3): 841-871.

[52] KIM G, BAE J. A novel approach to forecast promising technology through patent analysis[J]. Technological forecasting & social change, 2016, 117(1): 228-237.

[53] LEE W S, HAN E J, SOHN S Y. Predicting the pattern of technology convergence using big-data technology on large-scale triadic patents [J]. Technological forecasting and social change, 2015, 100(1): 317-329.

[54] MARTINELLI A. An emerging paradigm or just another trajectory? Understanding the nature of technological changes using engineering heuristics in the telecommunications switching industry [J]. Research policy, 2012, 41(2): 414-429.

[55] NARIN F. Patent bibliometrics [J]. Scientometrics, 1994, 30(1): 147-155.

[56] MOGEE M E, KOLAR R G. Patent co-citation analysis of Eli Lilly & Co. patents [J]. Expert opinion on therapeutic patents, 1999, 9(3): 291-305.

[57] HUANG M H, CHIANG L Y, CHEN D Z. Constructing a patent citation map using bibliographic coupling: a study of Taiwan's high-tech companies [J]. Scientometrics,

2003, 58(3): 489-506.

[58] WARTBURG I V, TEICHERT T, ROST K. Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis [J]. Research policy, 2005, 34(10): 1591-1607.

[59] KÜRTÖSSY J. Innovation indicators derived from patent data [J]. Social & management sciences, 2004, 12(1): 91-101.

[60] NARIN F. Patents as indicators for the evaluation of industrial research output [J]. Scientometrics, 1995, 34(3): 489-496.

[61] VERSPAGEN B. Mapping technological trajectories as patent citation networks: a study on the history of fuel cell research [J]. Advances in complex systems, 2007, 10(1): 93-115.

[62] MINA A, RAMLOGAN R, TAMPUBOLON G, et al. Mapping evolutionary trajectories: applications to the growth and transformation of medical knowledge [J]. Research policy, 2007, 36(5): 789-806.

[63] BATAGELJ V. Efficient algorithms for citation network analysis[EB/OL]. [2018-05-05]. https://arxiv.org/pdf/cs/0309023v1.pdf.

[64] SU H N, LEE P C. Dynamic and quantitative exploration on technology evolution mechanism: The case of electrical conducting polymer nanocomposite[C]//Portland international conference on management of engineering & technology. Piscataway: IEEE, 2009: 2433-2440.

[65] BATAGELJ V., KEJZAR N., KORENJAK-CERNE S., et al. Analyzing the Structure of U.S. Patents Network[C]// BATAGELJ V, BOCK H H, FERLIGO A, et al. Data science and classification. Berlin: Springer, 2006: 141-148.

[66] MARIANI M S, MEDO M, LAFOND F. Early identification of important patents: design and validation of citation network metrics[EB/OL]. [2018-05-05]. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.036.

[67] CHANG P L, WU C C, LEU H J. Using patent analyses to monitor the technological trends in an emerging field of technology: a case of carbon nanotube field emission display [J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19.

[68] 陈亮 . 基于关联规则改进的技术演化分析方法研究 [D]. 北京 : 中国科学院大学 , 2013.

[69] HUANG Y, ZHU D, QIAN Y, et al. A hybrid method to trace technology evolution pathways: a case study of 3D printing [J]. Scientometrics, 2017, 111(1): 185-204.

[70] 李欣 , 谢前前 , 黄鲁成 , 等 . 基于 SAO 结构语义挖掘的新兴技术演化轨迹研究 [J]. 科学学与科学技术管理 , 2018, 39(1): 17-31.

[71] WANG X, QIU P, ZHU D, et al. Identification of technology development trends based on subject–action–object analysis: the case of dye-sensitized solar cells[J]. Technological forecasting & social change, 2015, 98(1): 24-46.

[72] YANG C, ZHU F, ZHANG G. SAO-basedtopic modeling for competitive technical intelligence: a case study in graphenne [C]//World scientific proceedings series on computer engineering and information science: uncertainty modelling in knowledge engineering and decision making. Singapore: World Scientific, 2016: 155-161.

[73] OTHMAN R, NOORDIN M F, GUSMITA R H, et al. SAO extraction on patent discovery system development for Islamic finance and banking[C]// International conference on information and communication technology for the muslim world. Piscataway : IEEE, 2017: 59-63.

[74] 陈亮 , 张静 , 张海超 , 等 . 层次主题模型在技术演化分析上的应用研究 [J]. 图书情报工作 , 2017(5): 103-108.

[75] 陈伟 , 林超然 , 李金秋 , 等 . 基于 LDA-HMM 的专利技术主题演化趋势分析 —— 以船用柴油机技术为例 [J]. 情报学报 , 2018, 37(7): 732-735.

[76] HANNEMAN R A, RIDDLE M. Introduction to social network methods[M]. California: University of California, 2005.

[77] YOON B, PARK Y. A text-mining-based patent network: analytical tool for high-technology trend[J]. Journal of high technology management research, 2004, 15(1): 37-50.

[78] CHANG P L, WU C C, LEU H J. Using patent analyses to monitor the technological trends in an emerging field of technology: a case of carbon nanotube field emission display[J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19.

[79] WU C C. Constructing a weighted keyword-based patent network approach to identify technological trends and evolution in a field of green energy: a case of biofuels[J]. Quality & quantity, 2016, 50(1): 213-235.

[80] TANG J, WANG B, YANG Y, et al. Patent miner: topic-driven patent analysis and mining[G]//Proceedings of the eighteen ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. New York: ACM, 2013: 1366-1374.

[81] FENG LLIU B, PENG Z Y. A patent hotspot discovery method[J]. Wuhan University journal of natural sciences, 2016, 21(5): 369-375.

知识管理论坛，2018(5):255-265
DOI：10.13266/j.issn.2095-5472.2018.025

[82] 陈亮，杨冠灿，张静，等．面向技术演化分析的多主路径方法研究 [J]. 图书情报工作，2015, 59(10): 124-130,115.

[83] YOON B, MAGEE C L. Exploring technology opportunities by visualizing patent information based on generative topographic mapping and link prediction [J]. Technological forecasting & social change, 2018, 132(1): 105-117.

作者贡献说明：

罗文馨：进行文献调研，撰写与修改论文；

王园园：确定选题，撰写与审定论文。

Review on research methods of technological topic evolution

Luo Wenxin[1, 2] Wang Yuanyuan[1, 2]

1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

2. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract: [Purpose/significance] The analysis of technological topic evolution is of great significance for understanding the technological development process and forecasting technology trends in the future. Exploring the roadmap of research methods of technological topic evolution analysis helps is helpful to understand its research status and lay the foundation for further research. **[Method/process]** This paper divided the existing research methods of technological topic evolution analysis into three major categories: qualitative methods, quantitative methods and hybrid methods combining qualitative and quantitative analysis, and then describes representative methods for each category. **[Results/conclusion]** Based on the systematic analysis of current research methods of technological topic evolution, the author discusses the shortage of existing research methods and prospects for future research.

Keywords: technological topic evolution patent analysis text mining literature review